

# 关于氢气加氢站消防安全的研究

袁柏燕, 陈霖新

(中国电子工程设计院)

摘要本文介绍在国家标准《氢气加氢站技术规范》编写过程中对加氢站等级划分、安全距离、通风和防爆安全措施等方面的消防安全问题的分析研究。

以我院为主编单位的国家标准《氢气加氢站技术规范》已向国家住房和城乡建设部上报报批稿,不久将会发布实施,编制组在编写过程中对氢气加氢站的消防安全十分重视。在进行国内外调研的基础上,多次进行研讨分析,本文是对这些研讨分析的综合论述,供大家参考。

## 1.关于氢气加氢站的等级划分

对加氢站进行等级划分的目的是用于“站址的选择及其相关安全距离的确定”。在制定中的国家标准《氢气加氢站技术规范》中规定在城市建成区内不得建设一级氢气加氢站和一级加氢加油站、一级加氢加气站,并在有关条文中,规定了各等级加氢站及其储氢罐与其他建筑物、构筑物的防火间距。因此如何界定“等级”的规定实际上是涉及“安全距离”的规定,下面对有关要求进行分析。

(1)加氢站等级的划分的依据主要是站内设置的储氢罐容量。在现行国家标准《建筑设计防火规范》GB50016-2006第4.3.1条规定的

可燃气体储罐与建筑物等的防火

间距中,将可燃气体储罐的总容积划分为 $V < 1000\text{m}^3$ 、 $1000 < V < 10000\text{m}^3$ 、 $10000 < V < 50000\text{m}^3$ 、 $50000 < V < 100000\text{m}^3$

4个等级;在《氢气站设计规范》GB50177—2005中表3.0.2规定的氢气罐与建筑物等的防火间距也是按4个等级划分,所不同的是 $>50000\text{m}^3$

为最大容量的划分。为了使氢气加氢站规范的制定和实施时与相关规范易于对应、比较,拟基本采用与上述两个标准对应储氢罐的总容量划分“氢气加氢站”为三个等级,一级站储氢罐总容量为 $4000\sim 8000\text{kg}\cdot\text{氢}$ ,折合气态氢为 $44000\sim 88000\text{m}^3$ ,基本上与“ $50000\sim 100000\text{m}^3$ ”

相对应;二级站为 $1000\sim 4000\text{kg}\cdot\text{氢}$ ,折合气态

氢为 $11000\sim 44000\text{m}^3$ ,基本上与“ $10000\sim 50000\text{m}^3$ ”

相对应;三级站为 $1000\text{kg}\cdot\text{氢}$ ,折合气态氢为 $< 11000$

$\text{m}^3$ ,基本上与“ $1000\sim 10000\text{m}^3$ ”

相对应。单罐储氢罐容量是每个氢气加氢站内根据具体氢源情况和氢气加注分级要求确定,通常应设有2~3个储氢罐。

(2)参照现行国家标准《加油加气站设计与施工规范》GB50156中加油站的分级规定:一级加油站的油罐总容量为 $120 < V < 180\text{m}^3$ ,单罐容积为 $50\text{m}^3$ ,二级站为 $60 < V < 120\text{m}^3$ ,单罐容积为 $50\text{m}^3$

,三级站为 $V < 60\text{m}^3$ 。单罐为 $30\text{m}^3$

。在该规范的编制说明中认为:加油站的油罐总容积宜为3~5天的销售量;年销售量为 $5000\text{t}/\text{a}$ 的加油站在我国城市中已建设很多.此类加油站的油罐总容积需达到 $65\sim 110\text{m}^3$

,所以将二级站的油罐总容积确定为 $120\text{m}^3$

;建设在城市郊区或公路两侧等开阔地带的加油站可以允许其油罐总容积比城市建成区内的加油站油罐总容积大一些,所以将一级站油罐总容积确定为 $121\sim 180\text{m}^3$

;三级加油站是从二级站派生出来的,在城市建成区内建筑物、构筑物比较密集,若按二级加油站建站,有时不能满足

防火

距离要求

,需要减少油罐总

容积,以降低加油站的运行风险,将

三级站的油罐总容积规定为等于或小于 $60\text{m}^3$

;加油站油罐的单罐容积的限制.既考虑了安全因素,又考虑了加油站的运营需要;柴油的闪点较高(属丙类),其危险性远不及汽油(甲类),所以规定柴油罐容积可折半计入油罐总容积。

(3)按燃油、氢气的能量密度进行折算比较，1m<sup>3</sup>燃油约折算为250kg·H<sub>2</sub>，在加油站的等级划分中的油罐总容积界面分别为180m<sup>3</sup>、120m<sup>3</sup>、60m<sup>3</sup>，相对应的氢气容量约为45000kg、30000kg、15000kg；油罐单罐容积为30m<sup>3</sup>、50m<sup>3</sup>，相对应的氢气量为7500kg、2500kg。在制定中的加氢站的规范将以规定的加氢站等级划分的储氢罐总容量界面分别为8000kg、4000kg、1000kg；储氢罐单罐容量分别为2000kg、1000kg、500kg，按能量折算仅为燃油1/15至1/5。作出这样的规定主要是考虑两方面因素，一是人们对氢安全、氢能应用的认知度尚待普及、提高；二是氢能汽车在起步阶段数量较少的状况。

(4)根据目前国内外氢气加氢站的建设、运营以及氢能汽车的发展趋势，在近期内若以三级加氢站的储氢罐容量用于充装、氢能燃料电池公交大巴汽车时，约可满足25辆2~3天的氢气耗量；若用以充装氢能燃料电池轿车时，约可满足100辆2~3天氢气耗量。这样的氢气加注能力是可以适应实际运营需求的，可以预料在氢能汽车发展的初期甚至中期，二级站、三级站的加注能力基本可满足需求。

(5)加氢加油合建站、加氢加气合建站的建设、营运对于发展我国氢能汽车的发展所需的加氢站等基础设施建设，是十分有利的，同时对节约用地、方便管理、节约能源也是十分有益的。据了解国外从建设氢气加氢站初期便十分重视这种“合建”的探索研究，至今已建的数十座加氢站大多采用“合建站”的形式。规范中对合建站等级划分的规定是参照GB50156中对加油加气合建站的等级划分原则，主要是考量由于储氢罐与储气装置或储油罐迭加后潜在危险的增加，基本是按二级站迭加后提升为一级站，三级站迭加后提升为二级站。

## 2.关于氢气加氢站的安全距离的确定

(1)氢气与天然气均为可燃气体，它们的主要性能参数见表1，从表1中数据可见氢气和天然气密度均比空气轻，但氢气密度更小，仅为天然气的1/8左右，一旦发生氢气泄漏比天然气更容易扩散，且不易在设备或建筑物的低处积聚，虽然氢气在空气中的燃烧、爆炸范围宽，只要通风良好是不容易积聚形成爆炸混合气的。据资料[1]介绍，为了确定加氢站的安全距离，该研究小组利用实效模型和相关参数的计算后认为：“压缩氢气(350bar和700bar)与汽油、天然气的加注站至民众生活、工作场所的安全距离是同一量级，但液化石油气(LPG)加注站的安全距离则要大得多；加油站可安装加氢装置，而不需增加安全距离。”

**表 1 氢气、天然气的主要性能参数**

性能参数	氢气	天然气(CH <sub>4</sub> )※
一般特性	无色、无嗅、无毒	无色、无嗅、无毒
气体密度(kg/m <sup>3</sup> )	0.0898	0.716
气体相对密度(空气=1时)	0.07	0.554
空气中的爆炸限(%)	4~75	5~15
着火温度(°C)	400	540
最小着火能量(mJ)	0.02	0.28
燃烧低热值(KJ/m <sup>3</sup> )	10785	35877

※由于天然气中甲烷(CH<sub>4</sub>)含量约90~98%，其余为C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>、C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>、N<sub>2</sub>等，所以表中按甲烷的性能参数列出。

(2)根据目前收集到的国外有关氢气设施的安全距离方面的标准、规范、规程中的规定，大多数比目前国内相关标准、规范中的安全距离要小，有的还小得较多，下面列举几个国外标准中的相关安全距离的规定。

1)美国消防标准《汽车燃料系统规范》NFPA52，2006版中表9.3.1.3室外气态氢系统的间距要求，见表2。

**表 2 室外气态氢系统的间距**

系统构成	暴露情况	间距	
		英尺(ft)	米(m)
压缩、储存和加注设备	可建在火源或距离火源最近的重要建筑物或相邻物业线	10	3.1
压缩、储存和加注设备	最近的公共街道或便道线	10	3.1
压缩、储存和加注设备	铁路主轨道最近的轨道	50	15.2
任何固定容器	易燃材料	10	3.1
储存容器	装有易燃或可燃液体的地面罐体	20	6.1
输送点	不是采用混凝土或砖砌材料或者耐火等级在 2 小时以上的其他材料建造的任何重要建筑，如活动住所，公共便道，公路，街道或者道路	10	3.1
输送点	采用混凝土或砖砌材料或者耐火等级在 2 小时以上的其他材料建造的建筑或墙体	无限制	
输送点	储存容器	3	1.0
多组容器的阀门和配件	任何障碍物	3	1.0

从表中数据可见，氢气压缩、储存和加注设备与铁路轨道的距离为15.2m<sup>3</sup>（我国现行国家标准《氢气站设计规范》GB50177中规定为25~30m）；与公共街道或便道线的间距为3.1m<sup>3</sup>（在GB50177中规定与城市道路的距离为15m）。

在NFPA52中对液态氢(LH<sub>2</sub>)储罐与建筑物的距离和液化天然气(LNG)是相同的，LH<sub>2</sub>的距离规定在表14.2.2中，LNG在表16.5.1中，现分别在表3、表4列出。

**表 3 LH<sub>2</sub> 的蓄液区到建筑物、地界线的距离**

单个容器内水容量		蓄液区和容器排放系统边缘与建筑物和地界之间的最小距离		储存容器之间的最小距离	
加仑	立方米	英尺	米	英尺	米
<125	0.5	0	0	0	0
125~500	0.5~1.9	10	3.0	3	1.0
501~2000	1.9~7.6	15	4.6	5	1.5
2001~15000	7.6~56.8	25	7.6	5	1.5
15001~30000	56.8~114	50	15.0	5	1.5
30001~70000	114~265	75	23.0	相邻容器直径总和的 1/4 [不小于 5 英尺(1.5 米)]	

**表 4 LNG 的蓄液区到建筑物、地界线的距离**

单个容器内水容量		蓄液区和容器排放系统边缘与建筑物和地界之间的最小距离		储存容器之间的最小距离	
加仑	立方米	英尺	米	英尺	米
<125	0.5	0	0	0	0
125~500	0.5~1.9	10	3.0	3	1.0
501~2000	1.9~7.6	15	4.6	5	1.5
2001~15000	7.6~56.8	25	7.6	5	1.5
15001~30000	56.8~114	50	15.0	5	1.5
30001~70000	114~265	75	23.0	相邻容器直径总和的 1/4 [不小于 5 英尺(1.5 米)]	

例外：在得到主管部门批准情况下，允许该设备缩小它与混凝土或砖砌体建造的建筑物或墙体之间的距离，但与任何建筑物的开口距离不得小于 10ft (3.0 米)。

这里所说的蓄液区是指：为避免液态氢(LH)或液化天然气(LNG)一旦从储罐泄漏时漫流，扩大安全事故的范围，与储油罐区同样设有保护堤形成蓄液区。从表3、表4数据可见，从液态氢或液化天然气蓄液区至建筑物的距离是3.0~23.0m<sup>3</sup>(单个LH<sub>2</sub>或LNG储罐容量为0.5~265m<sup>3</sup>)，折算为气态氢的储罐容量为350~185500Nm<sup>3</sup>。

；在我国的现行国家标准《建筑设计防火规范》GB50016中第4.3.7条规定：“液氢储罐与建筑物等的防火间距可按第4.4.1条相

应储量的LPG储罐

防火间距的规定减少25%确定。”在

表4.4.1条中规定LPG储罐总容量为30~200m<sup>3</sup>

的储罐至工业企业建筑物的防火间距为27~30m，减少25%后为20.25~22.5m；至民用建筑的防火间距为40~45m，减少

25%后为30~33.75m。

2)欧洲工业气体协会2006版的《气态氢气站》IGCDOC15 / 06E标准中4.3节关于“站址”选择要求中作出“表1氢气站的最小安全距离”的规定，现将该标准中的表1转列于表5，该表中规定：“地上大宗易燃液体及LPG储罐与氢气站的最小安全距离为8m，与木制建筑或结构的最小安全距离为8m”，我国现行国家标准《氢气站设计规范》GB50177中规定：氢气站与四级耐火等级建筑物的防火间距为16m；在GB50016中的表4.2.1中规定地上甲、乙、丙类可燃液体储罐与一、二级建筑物的防火间距为12~25m。

**表 5 氢气站的最小安全距离**

室外暴露的类型	与氢气站的距离(米)
1. 明火和其他着火源(包括电气)	5
2. 现场边界与人员可能聚集场所,如停车场,餐厅等	8
3. 木制建筑或结构	8
4. 办公室、车间等的墙上开孔	5
5. 符合所在国家规范的地面上大宗易燃液体及 LPG 储罐	8
6. 地面以下可燃液体罐和 LPG 罐	
6.1 储罐(自外壳的水平距离)	3
6.2 通气管或接头	5
7. 除氢气以外的其他可燃气瓶储存区	5
8. 瓶装氧气储存区	5
9. 液氧储存(储罐容量不大于 125000 升)	8**
10. 不可燃低温液体储罐如氩、氮等	5*
11. 可燃材料堆场,如木材	8
12. 空气压缩机,通风机吸气口	

(\*) 如果采取措施使液体释放时远离氢系统, 该距离可以减小。

(\*\*) 对容量大于 125000 升的储罐, 见 IGC 文件 3/75。

3)美国消防标准《压缩气体及低温流体采用便携式和固定式容器、气瓶、储罐、储存、使用、运输标准》NFPA55(Standard for the storage, use, and handling of compressed Gases and Cryogenic Fluids in portable and Stationary Containers, Cylinders, and Tanks)2005版中表10.3.2.2.1室外氢系统的最小距离规定： $>425\text{m}^3$

的氢系统(包括储存、压缩)与各种类型建筑物的最小距离为1.5~15.2m, 与公共集会场所的最小距离为15.2m, 距电车、火车等为15m; 在表11.3.2.2液态氢系统的最小距离中规定:  $\text{LH}_2$ 总容量为56~283 $\text{m}^3$ 与各种类型建筑物的最小距离为1.5~30.5m, 与公共集会场所的最小距离为23m。

(3)氢气加氢站技术规范编制过程中参编人员对于有关安全距离的确定, 进行了多次研讨和走访有关单位和工程技术人员, 达到了如下共识; 鉴于氢气加氢站在国内刚开始起步, 国际上虽然建造了数十座氢气加氢站。但多为“示范”或“短期运行”, 尚未达到商业运营状态; 因此在本次规范制定中应结合我国的国情, 对于氢气加氢站的工艺设施与站外建筑物、构筑物的防火间距基本上应按我国相关的现行国家标准中的有关规定: 对于加氢站站内设施之间的防火间距, 应参照国内相关标准的规定并结合国外有关标准中的有关规定进行综合分析确定。本文只以储氢罐与民用建筑的防火间距进行说明, 其余详见规范规定。

储氢罐与民用建筑的防火间距, 根据现行国家标准《建筑设计防火规范》GB50016第4.3.1条的规定, 民用建筑与各种总容量的可燃气体储罐的防火间距分别为30 $\text{m}^3$ (储罐总容积为50000~100000 $\text{m}^3$ 时)、25 $\text{m}^3$ (10000~50000 $\text{m}^3$ 时)、20 $\text{m}^3$ (1000~10000 $\text{m}^3$ 时);

在现行国家标准《汽车加油加气站设计与施工规范》GB50156中表4.0.5规定, 地上LPG罐的一级站与一类、二类、三类保护的民用建筑的防火距离分别为45m、35m、25m, 二级站则分别为38m、28m、22m, 三级站则分别为33m、22m、18m。由于目前氢气加氢站的规模一般都还较小, 为了与GB50016中规定的可燃气体储罐与民用建筑防火间距基本一致的要求, 本规范中规定二类、三类保护的民用建筑与二级、三级加氢站的储氢罐的防火间距分别为30m、25m、20m; 与一类保护民用建筑的防火间距增加5m, 分别为35m、30m、30m: 这样的规定与GB50016和GB50156相比, 严于前者的规定; 二级、三级站与GB50156相应级别的防火间距接近, 一级站一类、二类的防火间距小于GB50156中的规定, 因为LPG加气站的折算容量均大于相应级别的加氢站, 且LPG的潜在危险也比氢气大, 因此作出相应的规定

### 3. 氢气加氢站的通风、防爆安全措施制定

由于氢气的密度小、易扩散和燃爆范围宽、着火能小等物化特性，根据可燃气体着火、燃爆的基本要素：燃爆混合气、着火能或着火温度。在所有氢气设施的设计、建造中均应十分重视防止氢气在建筑内、设备内以及各种场所的可能积聚，以避免在空气中达到燃爆极限的混合气体的生成；防止各类火源、着火能量或温度的可能形成。为此，在规范中设有相应的条文规定了站内有爆炸危险场所的电气设施的设防等级、防静电接地等方面的要求。在下面着重对有关条文内容作一些分析。

(1)为防止氢气的积聚，除了在建筑结构、设备构造上采取措施外，规范中规定在站内有爆炸危险(即在有氢气的场所)场所如氢气压缩机间、氢气压力调节器间、制氢间等的房间顶部易积聚泄漏氢气的场所，均应设置空气中氢气浓度超限报警装置，目前国内外都有商品化的各种氢浓度报警器，如接触燃烧式、热化学式、气敏半导体式和钯栅场效应晶体管等，其中钯栅场效应式应用较多，其灵敏和选择性好，并只对氢气进行报警的特点。据调查国内设有氢气设施的场所均设有此类报警装置，只是一些单位对氢气特性了解不够或一时疏忽，未将“氢气报警探测器装设在场所内最易积聚氢气的顶部“死角”处，”这是需特别注意的：在规范中规定当“空气中氢气浓度达到0.4%时(即燃爆下限的10%)应进行报警”。在氢气加氢站运营中一旦进行报警，运行管理、操作应按“安全事故预案”采取相应措施，检测氢气泄漏处并采取应对措施杜绝泄漏继续发生；若空气中氢气浓度继续升高，一旦达到1%时(即燃爆下限的25%)应启动事故排风机，加强场所内通风换气，使该场所的氢气浓度得到控制，并应即时组织人员查明原因。采取相应的防止氢气泄漏的措施。

为防止有爆炸危险场所形成“可燃气体燃爆混合气”，所有“有氢气的场所”均必须具有换气次数达到5次以上的自然通风措施。据了解国内外相关标准规范均有相似的规定，如美国消防标准《汽车燃料系统为标准》NFPA52中对机械排风的规定：“单位房间面积的通风速率最小为 $1\text{ft}^3/\text{min}/\text{ft}^2$ ”等；国内现有的氢气设施均在有爆炸危险房间的顶部(最高处)设有自然通风装置(自然通风帽、气窗等)，确保换气次数超过5次；另在此类房间设有机械排风机(事故排风)，一般设在侧墙上的较高处(顶部)，排风机与空气中氢浓度报警装置连锁控制。

(2)为了减少一旦发生氢气着火爆炸事故造成的损失，确保不会因爆炸事故引发房屋倒塌，对有爆炸危险的建筑物、房间、装置均应设有必须的泄压面积，在加氢站规范编制中，参照欧洲工业气体协会标准《气态氢气站》IGCD0C 15 / 06E“泄压面积不小于屋面面积或最长一侧外墙面积”。“泄压面积可以是对外开孔的面积、轻质不燃材料的墙，外墙上开的门，轻型屋面等”的规定。在规范中规定：有爆炸危险房间的泄压面积应为层面水或最长一侧外墙面积的1.2倍。

(3)在氢气加氢站一旦发生着火、爆炸或其他事故时，为防止事故的扩大、蔓延，一般应即时切断氢源、切断电源等，切断电源是运营管理规程中应作的严格规定。切断氢源也应在运营管理规程中进行严格规定，并应在氢气系统的设计、建造时为切断氢源创造条件，所以在规范中作了在加氢站氢气进气总管设紧急切断阀的规定。这里所指的氢气进气总管应根据不同氢源是不同的，对氢气加氢站一般应是在储氢罐后的氢气总管；若设有自备制氢装置还应在制氢装置或氢气压缩机后的氢气总管；总之主要根据具体工程的氢气加氢工艺系统设置情况确定。

#### 参考文献

[1]A.J.C.M.Matthijsen, E.S.kooi, 加氢站安全距离

[2]欧洲工业气体协会(2006), 气态氢气站

[3]NFPA52, 汽车燃料系统规范

[4]美国能源部Freedom<sup>3</sup>CAR汽车协作技术项目：亚利桑那州公共服务公司——替代燃料(氢气)试验站的设计报告

[5]国际氢能基础设施发展概况

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/159214.html>